

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenl gungsschrift**
⑩ **DE 198 16 612 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
H 04 B 10/08
G 01 J 3/14

②① Aktenzeichen: 198 16 612.5
②② Anmeldetag: 15. 4. 98
④③ Offenlegungstag: 21. 10. 99

DE 198 16 612 A 1

⑦① **Anmelder:**

Bandemer, Adalbert, Dr.-Ing., 80995 München, DE;
Krause, Egbert, Dipl.-Ing., 09217 Burgstädt, DE

⑦② **Erfinder:**

Antrag auf Nichtnennung

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Überwachung aller charakteristischen Parameter eines WDM-Übertragungssystems. Im Gegensatz zu konventionellen Gittermonochromatoren, elektrisch abstimmbaren Filtersystemen oder Interferenzverfahren wird ein besonders schmales, durchstimmbares Bandpaßfilter durch Realisierung eines Gittermonochromators mit einem Echelle-Gitter in Littrow-Anordnung und rotierendem Prisma vorgesehen. Um Meßfehler durch Rotationsschwingungen des Prismas zu verhindern, wird das rotierende Teil der Anordnung mit einem Hilfslaser abgetastet und die reflektierte Strahlung auf einen Positionssensor abgebildet. Gleichzeitig stellt die Verwendung der Anordnung des Gitters nach Littrow Vorteile dar, da hin- und rücklaufender Lichtweg (nahezu) gleich sind. Durch den Einsatz eines dielektrischen Filters im Strahlengang kann eine höhere Ordnung des Gitters genutzt werden.

DE 198 16 612 A 1

AH2

Bei dichtgepackten WDM-Systemen (dense WDM, DWDM) werden Nachrichten über Lichtsignale bei verschiedenen Wellenlängen über nur eine Faser übertragen. Jede Wellenlänge ist Träger eines Informationssignals. Dabei liegen alle Kanäle innerhalb des Wellenlängenbereichs von ca. 1520 nm bis 1565 nm. Der Kanalabstand beträgt wenige Nanometer bzw. einige hundert Picometer. Von der internationalen ITU-T Arbeitsgruppe wurden dabei zur Standardisierung dieser Telekommunikationssysteme die zu verwendenden Wellenlängen (= Kanäle) mit einem Kanalabstand von 100 GHz (≈ 0.8 nm) als Standard empfohlen.

An vielen Stellen dieses Übertragungssystems werden Anordnungen zur laufenden Überwachung des gesamten Systems benötigt. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die notwendige Überwachung aller charakteristischer Parameter eines Mehrwellenlängen (WDM)-Systems durchzuführen. Zu den wichtigsten Parametern gehören dabei die Wellenlänge sowie die Leistung aller Kanäle, die Überwachung der Linienbreite und der Wellenlängendrift der Laser, sowie das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Übertragungskanal. Typische Spezifikationsanforderungen für die Überwachung sind dabei:

- Wellenlängenmessung pro Kanal mit 0.08 nm absoluter Genauigkeit und 0.01 nm Auflösung
- Leistungsmessung pro Kanal mit 0.5 dB absoluter Genauigkeit und 0.1 dB Auflösung
- S/N-Messung zwischen den Kanälen mit 0.4 dB absoluter Genauigkeit, 0.1 dB
- Wiederholbarkeit und einer Dynamik von mindestens 33 dB
- Zuverlässigkeit über 10^{10} Meßzyklen (ca. 20 Jahre)
- geringe PDL (0.1 dB max.)
- geringe Baugröße z. B. $20 \times 17 \times 5$ cm³.

Zur Überwachung eignen sich grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren: die Filtertechnik und die Interferometertechnik. Beide kommen in konventionellen optischen Spektrumsanalysatoren zur Anwendung.

Bei der Filtertechnik werden zur Wellenlängenselektion durchstimbare schmalbandige Filter verwendet. Es kommen akustooptische Filter (z. B. Fa. Wandel & Goltermann) oder piezoelektrisch gesteuerte Mikrofilter (z. B. Fa. Queensgate) zum Einsatz, die direkt über eine elektrische Größe abstimmbare sind. Eine weitere Variante ist die Gittermonochromatortechnik, bei dem entweder das Gitter gedreht und das räumlich aufgelöste Signalspektrum mit einer einzelnen Photodiode abgetastet wird oder das Gitter feststeht und ein scannender Ablenkspiegel vor dem Ausgangsspalt des Monochromators vorgesehen ist (z. B. Fa. Photonetics) oder es wird ein feststehendes Gitter zusammen mit einer Fotodiodenzeile als Detektoreinheit (z. B. Fa. Yokogawa) verwendet.

Bei der Interferometertechnik wird aus dem Detektorsignal eines Michelson-Interferometers mit variablen Weglängen mit Hilfe der Fouriertransformation das Spektrum gewonnen (Fa. Hewlett Packard).

Alle erwähnten, konventionellen Anordnungen sind nicht geeignet, die hohen Anforderungen, die bezüglich Auflösung, Meßgenauigkeit, ASE-Messung und Dynamik an eine Monitoring-Baugruppe für ein WDM-System gestellt werden, gleichzeitig und in geeigneter Weise zu erfüllen und außerdem den Forderungen nach kurzer Meßzeit, Langlebigkeit und geringem Platzbedarf zu entsprechen.

Die Erfindung betrifft daher eine Anordnung und ein Verfahren zur schnellen und hochgenauen Überwachung des

gesamten Spektrums in WDM-Übertragungssystemen.

Diese Anforderung wird erfindungsgemäß durch eine Anordnung erfüllt, die ein schmalbandiges und durchstimbbares Bandpaßfilter für den WDM-Bereich darstellt. Realisiert werden kann dies beispielsweise durch ein spezielles Gitterspektrometer, in dem ein Echelle-Gitter in Littrow-Anordnung (1) gemäß Fig. 1, mit großem Einfallswinkel, großem Linienabstand und hoher Ordnung betrieben wird. Dadurch sind die Lichtwege für ein- und ausfallendes Licht nahezu identisch. Die Vorteile des Echelles in Littrow-Anordnung sind in der höheren Auflösung und Dispersion gegenüber gewöhnlichen Gittern und durch die mögliche optimale Anpassung des meßbaren Spektralbereiches auf den zu untersuchenden WDM-Wellenlängenbereich von z. B. bis 1565 nm zu sehen.

Außerdem wird eine hohe Effizienz ohne PDL (polarisationsabhängige Verluste) erreicht, da die Strahlen senkrecht auf die Gitterflächen treffen und in hohem Einfallswinkel mit kleinem Strahldurchmesser eine große Gitterlänge ausleuchten. Eine zusätzliche Platzersparnis kann beispielsweise durch die Verwendung eines kleinen Hohlspiegels (2) und eines langen schmalen Gitters erreicht werden.

Für ein allgemeines Gitter gilt die Grundgleichung

$$m\lambda = d(\sin\alpha + \sin\beta) \quad (I)$$

wobei m die Ordnung, d der Linienabstand und α , β die Ein- bzw. Ausfallwinkel bezeichnen. Da bei einem Echelle in Littrow-Anordnung Ein- und Ausfallwinkel nahezu identisch sind ergibt sich die Vereinfachung:

$$m\lambda = 2 d \sin\alpha \quad (II)$$

Typische Blaze-Winkel α liegen bei 63° oder 76°. Verfügbare Gitterkonstanten betragen 31.6/79/316/mm, d. h. die Gitterkonstante d liegen bei 31.6/12.7/3.16 μ m. Der freie Spektralbereich F ist durch die hohe Ordnung m eingeschränkt.

$$F = \frac{\lambda}{m} \quad (III)$$

Durch ein dielektrisches Vorfilter (3) als Bandpaß werden Wellenlängen außerhalb des WDM-Bereiches unterdrückt. Das Filter passiert dann z. B. nur der ca. 50 nm breite WDM-Bereich. Dadurch ist eine Ordnung von maximal 30 erreichbar. Bei konstantem Einfallswinkel α muß der Ausgangsstrahl abgelenkt werden, wird dagegen die Bedingung $\alpha = \beta$ beibehalten, so muß eine Ablenkeinheit beide Strahlen kippen, bzw. das Gitter wird um diesen Winkel gekippt. Die theoretische Auflösung errechnet sich wie bei jedem Spektralapparat aus Linienzahl mal Ordnung. Um die Auflösung nutzen zu können, ist der Spalt (4) vor dem Fotodetektor (5) zur Gewinnung des Meßsignals (15) entsprechend schmal zu dimensionieren.

Wie in Fig. 1 dargestellt, kann die vorgeschlagene Anordnung beispielhaft durch folgenden Aufbau realisiert werden. Aus einer Singlemode-Faser (6) tritt das zu analysierende Licht des WDM-Systems aus, das durch eine Linse (7) in der Apertur verringert wird. Ein Planspiegel (8) lenkt den Lichtweg um, damit kleine äußere Abmessungen der Anordnung entstehen. Ein dielektrisches Bandpaßfilter (3) läßt nur den zu messenden Wellenlängenbereich passieren. Da es auf dem Weg zurück zum Detektor ein zweites mal durchlaufen wird, unterdrückt es mit doppelter Güte alle Wellenlängen außerhalb des WDM-Bereiches. Mehrdeutig-

keiten aufgrund der hohen Ordnung werden so vermieden. Der Hohlspiegel (2) formt einen parallelen Strahl (9) von ca. 12 mm Durchmesser und richtet ihn über ein vierseitiges verspiegeltes Prisma auf das Echelle-Gitter (1). Ein Motor (10) versetzt das Prisma (11) in eine konstante Drehbewegung mit ca. 1 Umdr./s.

Mechanisch bewegliche Teile sollten zwar in einem auf viele Jahre Betriebsdauer konzipierten Gerät vermieden werden, doch moderne kollektorlose Motoren mit selbstschmierenden Gleitlagern, die kaum Achslasten zu bewältigen haben sind für jahrzehntelangen, störungsfreien Betrieb geeignet.

Der durch Drehung des Prismas genutzte Ein- und Ausfallwinkel variiert z. B. im Bereich $76^\circ \pm 2,75^\circ$, wobei pro Umdrehung vier Messungen des Gesamtspektrums möglich sind.

Da Ein- und Ausfallwinkel identisch sind, wird der gleiche Lichtweg auf dem Rückweg des Lichtstrahls benutzt. Am Brennpunkt, der leicht gegenüber der Eingangsfasern versetzt ist, befindet sich ein Fotodetektor (5) mit vorgesetzter Spaltblende (4). Ein schmales Frequenzband von z. B. 0,025 nm passiert den Austrittsspalt der Anordnung.

Damit ergeben sich folgende Vorteile: Fokussierende Elemente können doppelt genutzt werden. Durch Betrieb bei hoher Ordnung haben Echelle höhere Auflösung und Dispersion als gewöhnliche Gitter. Der Spektralbereich kann auf den schmalen zu untersuchenden WDM-Wellenlängenbereich zugeschnitten werden. Es wird eine hohe Effizienz ohne Polarisationsabhängigkeit erreicht, da die Strahlen senkrecht auf die Gitterfläche treffen. Bei hohem Einfallswinkel kann mit kleinem Strahldurchmesser eine große Gitterlänge ausgeleuchtet werden. Es ist kein Hohlspiegel erforderlich, so daß ein langes Gitter mit hoher Auflösung eingesetzt werden kann. Die Gitterbreite kann schmal sein, so daß ein robuster und platz-sparender Aufbau möglich ist. Das zweifache Durchlaufen des dielektrischen Filters wird seine ursprüngliche Güte verdoppelt.

Desweiteren wird die Position des Prismas (11) mit sehr hoher Präzision durch einen Hilflaser (12) erfaßt. Der fokussierte Strahl des Hilflasers (12) wird auf die gleiche Fläche gerichtet und der reflektierte Strahl einem Positionssensor (13) zugeleitet. Dieser Positionssensor besteht beispielsweise aus einem Inkrementalmaßstab mit einer Teilung von 20 µm (Glas/verspiegelt) und einer dahinter angeordneten linienförmigen Fotodiode. Bei einer Fokuslänge von ebenfalls 300 mm werden die $5,5^\circ$ Winkeländerung in eine Ortsablage von 29 mm umgesetzt. Das Positionssignal (16) enthält pro Messung also 1450 Hell-Dunkel-Übergänge. Das WDM-Spektrum hat demnach bei einer spektralen Breite von z. B. 35 nm alle 0,024 nm exakte Stützstellen, die nicht von der Drehzahlkonstanz des Motors (10) abhängen.

Folgende Maßgaben für eine gute Performance dieser Anordnung sollten bei der Realisierung berücksichtigt werden: Die Meßrate sollte nur so hoch wie nötig (4/s) gewählt werden.

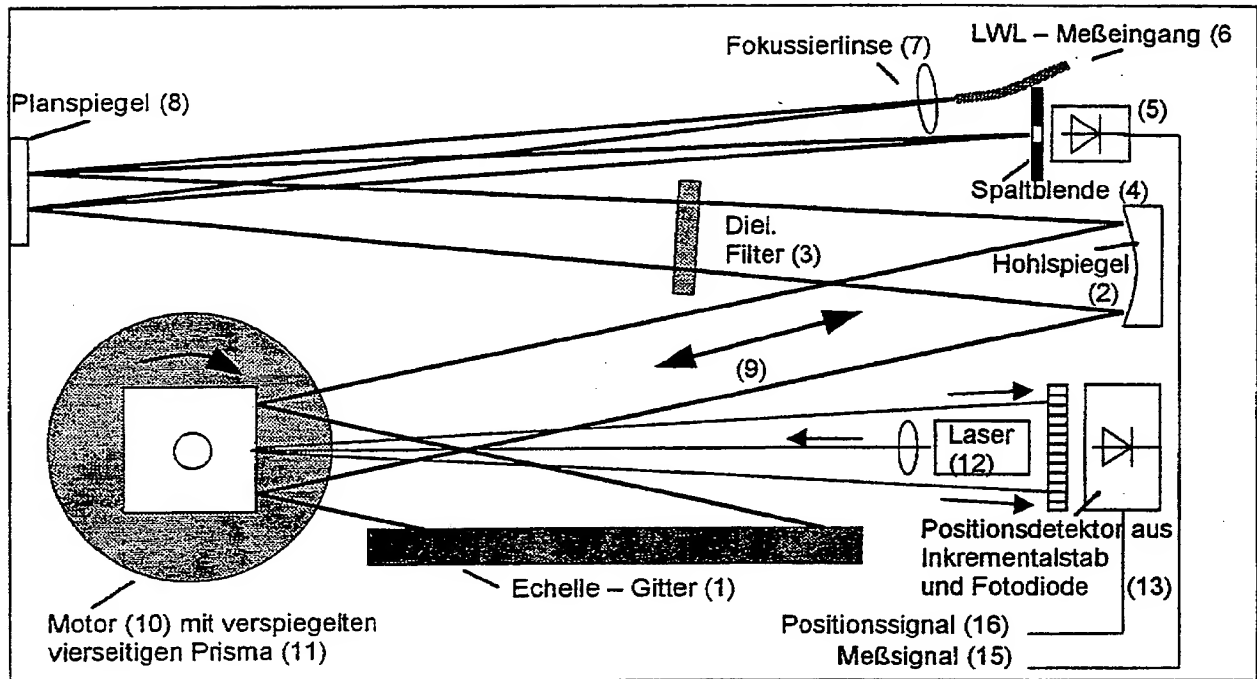
Die Zeit für einen Scan sollte möglichst lang gewählt werden (z. B. 8-seitiges Prisma mit $\frac{1}{2}$ U/s), damit Fotodiode und den Verstärker durch niedrige Grenzfrequenzen wenig rauschen und eine hohe Dynamik erreichbar ist. Innerhalb eines Scans können sehr große Pegelunterschiede auftreten, die Verstärkung kann aber nicht zwischendurch umgeschaltet werden, so daß ein AD-Wandler mit mindestens 16 bit (48 dB optische Dynamik) oder zwei AD-Wandler mit verschiedener Vorverstärkung parallel laufen sollten. Die Fokuslänge des Hohlspiegels bzw. der Linse sollten so groß wie möglich gewählt werden, damit die Dispersion des Gitters (ca. $5,5^\circ$ auf 35 nm) eine breite Auffächerung in der Fokusebene ergibt und die Spaltbreite nicht allzu klein sein

muß.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein schmalbandiges und durchstimmbares Bandpaßfilter für den WDM-Bereich durch eine Anordnung mit einem Echelle-Gitter in Littrow-Anordnung mit großem Einfallswinkel und großem Linienabstand realisiert wird.
2. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, dadurch gekennzeichnet, daß beispielsweise die Kombination eines rotierenden Prismas mit einem feststehendem Gitter verwendet wird.
3. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, dadurch gekennzeichnet, daß eine höhere Ordnung zur Erhöhung der Auflösung verwendet wird.
4. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, dadurch gekennzeichnet, daß zum Beispiel durch Verwendung eines Echelle-Gitters mit ruled-grating ein nahezu senkrechter Einfall auf das Gitter realisiert wird, um polarisationsabhängige Reflexionen zu vermeiden.
5. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, dadurch gekennzeichnet, daß zum Beispiel durch Einsatz eines Hilflasers eine Abtastung des drehenden Objekts zur Gewinnung eines Synchronsignals zur Wellenlängenzuordnung des Ausgangssignals der Anordnung gewonnen wird.
6. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, dadurch gekennzeichnet, daß zum Beispiel die Gewinnung eines Positionssignals des drehenden Objektes durch einen Positionssensor realisiert wird, der zum Beispiel aus einer linienförmigen Photodiode und einem davor angebrachten Inkrementalmaßstab besteht.
7. Anordnung zur Überwachung der Performance von DWDM Mehrwellenlängen-Systemen, dadurch gekennzeichnet, daß zum Beispiel ein dielektrisches Vorfilter zur Unterdrückung von Wellenlängen außerhalb des Meßbereiches eingesetzt wird, welches aufgrund des zweimaligen Durchlaufens seine wirksame Güte verdoppelt.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



Figur 1